

**Membrane production for olefin/paraffin separation, comprises use of polymer matrix containing transition metal salt which reversibly complexes unsaturated organic compounds and avoids addition of water or alcohol to the feed**

Patent Number: DE19929482

Publication date: 2001-03-01

Inventor(s): KERRES JOCHEN (DE)

Applicant(s): UNIV STUTTGART (DE)

Requested Patent: ☐ DE19929482

Application

Number: DE19991029482 19990628

Priority Number

(s): DE19991029482 19990628

IPC Classification: B01D71/00; B01D67/00; B01D61/36; B01D53/22; C07B63/00; C07C7/144; C07C7/12; G01N27/26; B01J20/26; B01J20/32

EC Classification: C07C7/144, B01D53/22M, B01D61/24, B01D61/36, B01D67/00J18, B01D69/14B10, B01D71/62, B01J20/26, B01J20/32

Equivalents:

---

**Abstract**

Olefin separation membrane production comprises the use of a polymer or polymer membrane containing a difficult to dissolve transition metal salt to reversibly complex the double or triple bonds of an unsaturated organic compound, so that it can be selectively transported through the polymer matrix by facilitated transport. Olefin separation membrane production comprises the use of a polymer or polymer membrane containing a difficult to dissolve transition metal salt to reversibly complex the double or triple bonds of an unsaturated organic compound, so that it can be selectively transported through the polymer matrix by facilitated transport, and a water soluble transition metal salt can be deposited and fixed in the membrane with the formation of a difficult to dissolve salt. An Independent claim is also included for the production of polymer membranes in three steps: (I) (a) storing the polymer or polymer membrane at 20-95 deg C in dilute mineral acid HX (concentration 2-15 wt.%) for 2-48 hours (X = Cl, Br, I), (b) rinsing the polymer or polymer membrane with distilled water at 20-95 deg C until the water no longer shows an acid reaction, (c) steeping the polymer or polymer membrane in 0.1-2M silver nitrate solution at room temperature to 60 deg C for 2-48 hours; and (d) washing the polymer or polymer membrane with distilled water at 20-95 deg C until the wash water shown no Ag<+> ions; (II) (a) steeping the polymer or polymer membrane in 0.1M-4M silver nitrate solution at 60 deg C for 2-48 hours; (b) treating the polymer or polymer membrane as Ib above; and (c) treating the polymer or polymer membrane as Ia above; and (III) preparing the membranes in a two-step process comprising steeping the polymer or polymer membrane in a solution of CuCl in concentrated HX (X = Cl, Br, I) at room temperature at 60 deg C until the acid HCux2 is formed; and (b) steeping the polymer or polymer membrane in distilled water at 20-95 deg C for 5-48 hours.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 199 29 482 A 1**

⑳ Aktenzeichen: 199 29 482.8  
㉔ Anmeldetag: 28. 6. 1999  
㉕ Offenlegungstag: 1. 3. 2001

㉙ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 01 D 71/00**  
B 01 D 67/00  
B 01 D 61/36  
B 01 D 53/22  
C 07 B 63/00  
C 07 C 7/144  
C 07 C 7/12  
G 01 N 27/26  
B 01 J 20/26  
B 01 J 20/32

DE 199 29 482 A 1

㉙ Anmelder:  
Universität Stuttgart, 70174 Stuttgart, DE

㉙ Erfinder:  
Kerres, Jochen, 73760 Ostfildern, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉙ Polymermembran zur Anreicherung von Olefinen aus Olefin/Paraffin-Mischungen

㉙ Die Erfindung beschreibt Verfahren zur Herstellung von Polymermembranen, die in der Polymermatrix Übergangsmetallsalze enthalten, die zur reversiblen Komplexierung von ungesättigten organischen Verbindungen, insbesondere Olefinen, befähigt sind und damit dazu in der Lage sind, diese ungesättigten Verbindungen mittels "erleichterter Transport" ("facilitated transport") bevorzugt durch die Membranmatrix zu transportieren. Diese Membranen können deshalb zur selektiven Anreicherung der ungesättigten organischen Verbindungen aus ihren Mischungen mit anderen organischen Verbindungen verwendet werden. Das Metallsalz liegt dabei im Polymer bzw. in der Polymermembran ausgefällt vor, z. B. als AgCl oder CuCl, und kann damit nicht aus der Membranmatrix ausgetragen werden. Werden die erfindungsgemäßen Polymere bzw. Polymermembranen in der Olefin/Paraffin-Trennung eingesetzt, kommt dabei das Olefin/Paraffin-Trennverfahren im Gegensatz zu anderen literaturbekannten Trennverfahren dieser Art ohne ein das Polymer/die Membran quellendes Agens wie Wasser, Alkohol (z. B. Ethylenglycol) oder Polymere (z. B. Polyethylenglycol, Polyvinylalkohol) aus.

DE 199 29 482 A 1

## Beschreibung

## 1. Gegenstand der Erfindung

Die Erfindung beschreibt Verfahren zur Herstellung von Polymermembranen, die in der Polymermatrix Übergangsmetallsalze enthalten, die zur reversiblen Komplexierung von ungesättigten organischen Verbindungen, insbesondere Olefinen, befähigt sind, und damit dazu in der Lage sind, diese ungesättigten Verbindungen mittels "erleichtertem Transport" ("facilitated transport") bevorzugt durch die Membranmatrix zu transportieren. Diese Membranen können deshalb zur selektiven Anreicherung der ungesättigten organischen Verbindungen aus ihren Mischungen mit anderen organischen Verbindungen verwendet werden.

## 2. Durch diese Erfindung zu lösendes, technisches Problem

Das durch diese Erfindung zu lösende, technische Problem ist, Membranen für den selektiven Transport von Olefinen aus ihren Mischungen mit gesättigten organischen Verbindungen bereitzustellen, deren Gehalt an die Olefine reversibel komplexierender Komponente sich während des Einsatzes nicht verringert, was zur Folge hat, daß sich deren Olefin-Trenneigenschaften (Olefin-Permeaselektivität, Olefin-Transmembranfluß) während des Einsatzes im Trennverfahren nicht verschlechtern.

## 3. Stand der Technik und seine Nachteile

Die Fähigkeit bestimmter Übergangsmetallkationen wie  $\text{Ag}^+$  oder  $\text{Cu}^+$ , selektiv und reversibel ungesättigte organische Verbindungen, wie z. B. Alkene, zu binden, ist schon seit längerem bekannt. Diese Fähigkeit wird dazu ausgenützt, Alkene mittels  $\text{Ag}^+$ -haltigen Polymermembranen, z. B.  $\text{Ag}^+$ -ausgetauschten Kationenaustauschermembranen ( $\text{SO}_3\text{Ag}$ ) [1], [2] selektiv aus Alken/Alkan-Mischungen anzureichern. In [2] ist die selektive Abtrennung von Penten aus Penten/Pentan-Mischungen beschrieben, in [3], [4] die Anreicherung von Styrol aus Styrol/Ethylbenzol-Mischungen. Nachteil dieser Verfahren ist, daß bei ihnen der zu separierenden Rohlösung Wasser zugesetzt werden muß, um die Kationenaustauschermembran zu quellen und somit die Transportkanäle für das Olefin durch die Membran zu öffnen.

Ein weiterer Ansatz, die selektive Komplexierung von  $\text{Ag}^+$ -Ionen mit Olefinen zur selektiven Anreicherung von Olefinen in einem Membranprozeß zu nutzen, ist, das Porensystem einer porösen Membran mit der wässrigen Lösung eines Silbersalzes zu füllen (Flüssigmembran-System) und die Membran mit einer olefinhaltigen Feedgas Mischung zu beaufschlagen, wobei das Olefin über die Flüssigkeit selektiv durch die Membran transportiert und an der Permeatseite wieder als Gas abgegeben wird [5], [6], [7]. Nachteil dieser Systeme ist, daß die wässrige Silbersalzlösung in der Membran nicht fixiert wird und deshalb wieder ausgetragen werden kann. Somit sind die Standzeiten dieser Membranen im Membrantrennprozeß limitiert.

In [8] wird ein Prozeß beschrieben, bei dem ein olefinhaltiges Feedgasgemisch mit einer wässrigen Lösung eines Cupan-typ-Clusters von Palladium, Molybdän und Schwefel kontaktiert wird, das Olefin reversibel mit den Clustern komplexiert, und danach das Olefin wieder aus der wässrigen Lösung ausgetrieben wird. Nachteil dieses Verfahrens ist der hohe Preis von Palladium und damit der erfindungsgemäßen Cluster und die Tatsache, daß diese Cluster nicht in einer (Polymer)membran fixiert sind, was im Prozeß zu einem allmählichen Verlust der Komplexbildner-Lösung führen dürfte.

In [9] wird ein Membranverfahren beschrieben, bei dem eine olefinhaltige Fluidmischung unter Überdruck mit einer Seite einer semiselektiven, dichten Polymermembran (Polydimethylsiloxan, EPDM) in Kontakt gebracht wird. Auf der anderen Seite der Membran läßt man eine flüssige, zur Komplexierung des Olefins befähigte Lösung zirkulieren. Durch Anlegen eines Überdrucks auf der Feedseite läßt man die Feedgase durch die Membran permeieren. Dabei wird beansprucht, daß das Olefin bevorzugt durch die Membran permeiert. Auf der anderen Seite der Membran wird das Olefin durch Komplexierung von der zirkulierenden Lösung aufgenommen. Anschließend wird das Olefin aus der Komplexierungslösung durch Temperaturerhöhung wieder ausgetrieben. Das Olefin läßt man dann unter Überdruck durch eine zweite semiselektive Membran permeieren. Die Komplexierungslösung wird danach recycliciert. Nachteil des Verfahrens ist die Verwendung von Membranen, die keine allzuhohe Olefinanreicherung erwarten lassen (PDMS, EPDM und andere Elastomere), und die Komplexizität und damit der teure Preis dieses Verfahrens. Da die Komplexierungslösung im Verfahren recycliciert werden muß, sind hier außerdem Verluste zu erwarten.

In [10] ist ein Verfahren zur Herstellung einer Silbersalz enthaltenden Polymermembran beschrieben, die in der Olefinabtrennung aus Olefin/Alkanmischungen eingesetzt wird. Die Membran wird dadurch hergestellt, daß ein hydrophiles Polymer, z. B. Polyvinylalkohol PVA, Polyethylenoxid PEO, Polyacrylamid in wässriger Lösung mit einem Silbersalz (z. B.  $\text{AgNO}_3$ ) und einem Alkalimetallsalz (z. B.  $\text{KNO}_3$ ) gemischt wird, gegebenenfalls ein Vernetzer zugesetzt wird (bei PVA z. B. Formaldehyd, Toluoldiisocyanat), und die Polymermembran durch Abdampfen des Wassers auf einem Support abgeschieden wird. Die Membran wird dann in der Abtrennung des Olefins aus Olefin/Alkanmischungen eingesetzt. Dabei muß das olefinhaltige Feedgas durch Durchblubbern durch Wasser humidifiziert werden, um die Membran zu quellen und damit zur reversiblen Komplexierung mit dem Olefin zu befähigen. Nachteil dieses Verfahrens ist, daß das Silbersalz in der Membran nicht fixiert ist, da es nach wie vor in der wasserlöslichen Form vorliegt. Das Salz kann somit aus der Membran herausmigrieren (feuchte Feedgase!), wobei diese ihre Selektivität für das Olefin allmählich verliert.

In [11] ist ein Verfahren zur Herstellung einer Membran beschrieben, bei der zur Komplexierung von Olefinen befähigte Übergangsmetallsalze, z. B.  $\text{AgBF}_4$ , in einer Polymermembran, z. B. Polycyclohexylhydrin, PEO, Polyether-polyamid-blockcopolymer, PEO, etc., zu einer "festen Lösung" aufgelöst werden, und diese Membran zur selektiven Abtrennung von Olefinen aus Olefin/Alkanmischungen mit jeweils derselben Anzahl von C-Atomen (z. B. Ethen/Ethan, Propen/Propan, etc.) verwendet wird, wobei beim Membrantrennverfahren kein Wasser zur Humidifizierung der Membran

notwendig sein soll. Nachteil dieses Verfahrens ist, daß das Silbersalz in der Membran nicht fixiert ist, da es in einer "festen Lösung" vorliegt. Das Salz kann somit aus der Membran herausmigrieren, wobei diese ihre Selektivität für das Olefin allmählich verliert. Weiterer Nachteil dieses Verfahrens ist, daß die Konzentration des Metallsalzes in der Membran mindestens 50 Gewichts-% ist. Damit wird zum einen das Verfahren sehr teuer (teure Metallsalze wie. z. B.  $\text{AgBF}_4$  oder Ag-tetraphenylboranat), und die Membran wird durch die hohe Metallsalzkonzentration sehr spröde, was für die Anwendung im Membrantrennprozeß von großem Nachteil ist (u. U. wegen niedriger Standzeit!).

#### 4. Aufgabe der Erfindung

Aufgaben der Erfindung sind:

Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Membranen, in die Metallsalze inkorporiert werden, die zur reversiblen Komplexbildung mit ungesättigten Verbindungen befähigt sind, wobei die Metallsalze durch Ausfällung zu einem schwerlöslichen Salz so stark in der Membranmatrix verankert sind, daß sie aus der Membranmatrix nicht mehr ausgetragen werden können.

Einsatz der erfindungsgemäßen Membranen in der Olefinabtrennung aus Mischungen des Olefins oder verschiedener Olefine mit gesättigten organischen Verbindungen.

#### 5. Mit der Erfindung gelöste Aufgabe (Erfindungsbeschreibung)

Bei der Nachbehandlung von Polybenzimidazol PBI Celazol®-Flachmembranen (chemische Struktur von Celazol® sh. Abb. 1) mit:

- (a) verdünnter Salzsäure (10 Gew.-%),
- (b) destilliertem Wasser bis zur neutralen Reaktion,
- (c) 1 M  $\text{AgNO}_3$ -Lösung,
- (d) destilliertem Wasser bis zur  $\text{Ag}^+$ -Freiheit des Waschwassers,

wurde überraschend festgestellt, daß in der Membran nach dieser Nachbehandlungsprozedur extrem feinverteiltes  $\text{AgCl}$  vorlag, mit Korngrößen des  $\text{AgCl}$  im Nanometerbereich, wobei der molare  $\text{AgCl}$ -Anteil mehr als 2 Mol pro Mol Polymer betrug. Wir vermuten, daß in der Membran bei den einzelnen Nachbehandlungsschritten (a) (c) folgende Reaktionen ablaufen:

- (a) Bildung des Hydrochlorids von Polybenzimidazol (Abb. 2),
- (c) Eindringen der  $\text{Ag}^+$ - und  $\text{NO}_3^-$ -Ionen in die Polymermembranmatrix, Anionenaustausch  $\text{Cl}^- \leftrightarrow \text{NO}_3^-$ , Ausfällen des Silberchlorids durch Annäherung des  $\text{Ag}^+$ - und des  $\text{Cl}^-$ -Ions in der Polymermatrix (Abb. 3).

Beim Einsatz dieser Membran in der perstraktiven selektiven Abtrennung von Penten aus Penten/Pentanmischungen (Versuchsaufbau siehe Abb. 4) wurde überraschend festgestellt, daß diese Membran eine extrem hohe Permselectivität für Penten über Pentan ( $> 300$ ) besaß und einen höheren Penten-Permeationsfluß als eine analoge Säure-Base-Blendmembran aus wasserlöslichem, sulfoniertem Poly(etheretherketon) sPEEK Victrex® (90 Gew.-% wasserlösliches sPEEK, Ionenaustauscherkapazität  $\text{IEC} = 2,95 \text{ meq SO}_3\text{Ag/g}$ , 10 Gew.-% Celazol®) und einen ähnlichen Permeationsfluß wie eine silberausgetauschte Nafion®-Membran ( $\text{Nafion}^\circ\text{-SO}_3\text{Ag}$ ). Überraschend war insbesondere, daß dieser hohe Penten-Permeationsfluß und die extrem hohe Penten-Permselectivität ohne den Zusatz von Wasser zur Feedmischung erzielt werden konnte, während bei der Säure-Base-Blendmembran und bei Nafion® Wasser zur Feedmischung zugesetzt werden muß, um die Membran zu quellen und damit den erleichterten Transport des Olefins entlang den  $\text{SO}_3\text{Ag}$ -Gruppen zu ermöglichen. Dadurch, daß bei Verwendung der erfindungsgemäßen Membranen in der selektiven Olefinabtrennung auf den Zusatz von Wasser verzichtet werden kann, können die Olefin-Permeationsflüsse auch über längere Zeiträume konstant gehalten werden. Bei Ionomermembranen, die Wasser zur Quellung benötigen und die für die selektive Olefinabtrennung aus Olefin/Alkanmischungen eingesetzt worden sind, wurde im Gegensatz zu den erfindungsgemäßen Membranen regelmäßig festgestellt, daß das Wasser über die Membran und aus der Membran mit der Zeit herausgetragen wird, die Membran somit austrocknet, und die Olefin-Permeationsflüsse durch die Membran als Folge davon dramatisch zurückgehen.

Das Silber liegt, wie oben erwähnt, in den erfindungsgemäßen Membranen in Form von schwerlöslichem  $\text{AgCl}$  vor, und damit ist es in der Membran fixiert und kann somit nicht mehr während des Einsatzes in Membranverfahren aus der Membran ausgetragen werden. Dies ist ein weiterer großer Vorteil der erfindungsgemäßen Membranen gegenüber den im Stand der Technik beschriebenen Membranen. Es steht zu erwarten, daß auch in andere basische Polymere und Polymermembranen feinverteiltes Silberchlorid nach der beschriebenen erfindungsgemäßen Methode eingeführt werden kann.

#### 6. Ausführungsbeispiele

##### 6.1 Membranherstellung und -charakterisierung

Aus PBI-Celazol® wird durch Auflösung in einem dipolar-aprotischen Lösungsmittel (N-Methylpyrrolidinon NMP, N,N-Dimethylacetamid DMAc, N,N-Dimethylformamid DMF) eine 1 bis 20 Gew.-%ige Lösung hergestellt. Mittels einer Rakel wird diese Lösung auf einem Support (Glasplatte, Metallplatte, Kunststoffplatte, Gewebe, Vlies) zu einem Film konstanter Dicke ausgerakelt. Danach wird bei Temperaturen von 80–200°C das Lösungsmittel abgedampft.

Die Membran wird nun bei  $T = 20$  bis  $90^{\circ}\text{C}$  für 5 bis 48 Stunden in 2 bis 15 Gew.-%ige Salzsäure eingelagert. Danach wird die Membran so lange mit destilliertem Wasser bei Temperaturen von 20 bis  $90^{\circ}\text{C}$  gespült, bis keine Salzsäure mehr im Waschwasser nachweisbar ist. Danach wird die Membran bei Temperaturen von Raumtemperatur bis  $50^{\circ}\text{C}$  in 0,1 bis 2 M  $\text{AgNO}_3$ -Lösung für 5 bis 48 Stunden eingelagert. Danach wird sie dem Silbernitratbad entnommen und so lange mit destilliertem Wasser gewaschen, bis im Waschwasser keine  $\text{Ag}^+$ -Ionen mehr nachweisbar sind.

In Abb. 5 ist ein Transmissionselektronenmikroskopisches (TEM) Bild der silberchloridhaltigen PBI-Membran gezeigt. Die dunklen Strukturen sind mikroskopische Agglomerationen von  $\text{AgCl}$  in der Polymerrmembran-Matrix. Die Membran hat einen Silbergehalt von 241,6 mg/g Membran.

## 6.2 Anwendung in der perstraktiven Pentenabtrennung aus Penten/Pentan-Mischungen

Der Versuchsaufbau für die perstraktive Abtrennung von Penten aus Penten/Pentan-Mischungen mittels des Membrantrennverfahrens Perstraktion ist in Abb. 6 gezeigt.

In Tabelle I sind die Penten- und Pentan-Flußraten sowie die Penten/Pentan-Permselektivität der erfindungsgemäßen  $\text{AgCl}$ -haltigen PBI-Membran sowie von einer perfluorierten Ionomermembran in der  $\text{SO}_3\text{Ag}$ -Form (PSI, Nafion-Typ [12]) und einer Säure-Base-Blendmembran aus 90 Gew.-% sulfoniertem Poly(etheretherketon) sPEEK (Ionenaustauscherkapazität 2,95 meq  $\text{SO}_3\text{Ag/g}$  Membran) und 10 Gew.-% PBI Celazol<sup>®</sup>, die eine Ionenaustauscherkapazität von 1,65 meq  $\text{SO}_3\text{Ag/g}$  Membran aufweist, gezeigt. Dabei ist zu beachten, daß bei den beiden Vergleichsmembranen im Penten/Pentan-Perstraktionstrennexperiment der Feedlösung 4% destilliertes Wasser zugesetzt werden muß, um die Membranen zu quellen und sie damit für den Olefintransport zugänglich zu machen.

Tabelle I

Daten der perstraktiven Anreicherung von Penten aus einer Penten/Pentan-Mischung mittels einer erfindungsgemäßen PBI-Membran und mittels Vergleichsmembranen

Membran	Fluß Penten $\frac{\text{mol}}{[\text{cm}^2 \cdot \text{s}]}$	Fluß Pentan $\frac{\text{mol}}{[\text{cm}^2 \cdot \text{s}]}$	Permselektivität
PSI $\text{¥}$	$6,95 \cdot 10^{-9}$	$2,1 \cdot 10^{-10}$	33
sPEEK/PBI 90/10 $\text{¥}$	$3,08 \cdot 10^{-9}$	im Fehlerbereich ( $<10^{-12}$ )	$>200$
PBI* $\text{AgCl}$	$5,196 \cdot 10^{-9}$	im Fehlerbereich ( $<10^{-12}$ )	$>300$

$\text{¥}$  Wasserzusatz zum Feed

## 7. Neuheit der Erfindung

Das erfindungsgemäße Membran-Herstellungsverfahren, die erfindungsgemäßen Olefin-Trennmembranen und ihr Einsatz in der Olefin/Paraffin-Trennung sind bislang in der Literatur nicht beschrieben worden.

## 8. Vorteile der Erfindung

Die Vorteile der erfindungsgemäßen Verfahren/Membranen gegenüber literaturbekannten Verfahren sind:

- das Metallsalz liegt in der Membran ausgefällt vor, z. B. als  $\text{AgCl}$  oder  $\text{CuCl}$ , und kann damit nicht aus der Membranmatrix ausgetragen werden,
- das Olefin/Paraffin-Trennverfahren kommt im Gegensatz zu anderen literaturbekannten Trennverfahren dieser Art ohne ein die Membran quellendes Agens wie Wasser, Alkoholen (z. B. Ethylenglycol) aus, das dort dem Feed zugesetzt werden muß.

## 9. Schlagworte

Erleichterter Transport, facilitated transport, Ausfällung in Membranmatrix, Silberchlorid, Kupfer(I)chlorid, basisches Polymer, Polymerrmembran, Gastrennung, Pervaporation, Perstraktion, Ammoniumhydrochlorid, Imidazoliumhydrochlorid, Pyridiniumhydrochlorid.

## 10. Literatur

- [1] P. M. Thoen, R. D. Noble, C. A. Koval, J. Phys. Chem. 98 (1994) 1262,
- [2] A. J. von Zyl, J. A. Kerres, J. Memb. Sci. 137 (1997) 173.

- [3] C. A. Koval, T. Spontarelli, R. D. Noble, Ind. Eng. Chem. Res. 28 (1989) 1020,  
 [4] C. A. Koval, T. Spontarelli, P. Thoen, R. D. Noble, Ind. Eng. Chem. Res. 31 (1992) 1116,  
 [5] M. W. Blackman, A. E. Velikoff, J. C. Davis, R. J. Valus, U.S. Pat. 5.131.928, 21. Juli 1992,  
 [6] D. T. Tsou, M. W. Blackman, U.S. Pat. 5.135.547, 4. August 1992,  
 [7] V. J. Kwasniewski, et al., U.S. Pat. 5.863.420, 26. Januar 1999, 5  
 [8] R. B. Wilson, K. Meyer, M. F. Asaro, U.S. Pat. 5.744.685, 28. April 1998,  
 [9] R. J. M. Creusen, et al., U.S. Pat. 5.498.339, 12. März 1996,  
 [10] W. S. W. Ho, U.S. Pat. 5.062.866, 5. November 1991,  
 [11] I. Pinnau, et al., U.S. Pat. 5.670.051, 23. September 1997,  
 [12] A. J. Zyl, "Development of New Membranes for the Separation of Hydrocarbon Mixtures", Dissertation, Potchefstroom University for Christian Higher Education, Potchefstroom, Südafrika (1998). 10

## Patentansprüche

1. Polymer oder Polymermembran, die ein schwerlösliches Übergangsmetallsalz enthält, das die Doppelbindung oder Dreifachbindung einer ungesättigten organischen Verbindung reversibel komplexieren und damit die ungesättigte organische Verbindung selektiv durch die Polymermatrix mittels "erleichterter Transport" ("facilitated transport") transportieren kann, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein wasserlösliches Übergangsmetallsalz in der Membran unter Bildung eines schwerlöslichen Salzes ausgefällt und damit fixiert wird. 15
2. Polymer oder Polymermembran nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Polymer ein Polymer ist, das folgende N-basische Gruppen enthalten kann: 20
  - primäre und/oder sekundäre und/oder tertiäre Aminogruppen  $\text{NR}_3$ ,  $\text{R} = \text{H}$ , Alkyl, Aryl,
  - Pyridin-, Pyrimidin-, Chinolin-, Pyridazin-, Pyrazin-, Triazin-, Indol-, Imidazol-, Pyrazol-, Triazol-, Tetrazol-, Pyrrol-, Oxazol-, Thiazol- und/oder andere N-heterocyclische oder N-heteroaromatische Gruppen.
3. Polymer oder Polymermembran nach den Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß das basische Polymer Imidazol-, Benzimidazol- und/oder Pyridinbausteine enthält. 25
4. Polymer oder Polymermembran nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Polymer Polyvinylimidazol, Poly(2-vinylpyridin), Poly(4-pyridin) oder Poly[(2,2'-m-phenylen)-5,5'-bibenzimidazol] ist.
5. Polymer oder Polymermembran nach den Ansprüchen 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das Polymer oder die Polymermembran ein Polyvinylimidazol, Poly(2-vinylpyridin), Poly(4-pyridin) oder Poly[(2,2'-m-phenylen)-5,5'-bibenzimidazol] enthaltender binärer oder ternärer Polymerblend ist. 30
6. Polymer oder Polymermembran aus den Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das in der Membran ausgefallene schwerlösliche Übergangsmetallsalz  $\text{AgX}$  oder  $\text{CuX}$  ist, mit  $\text{X} = \text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ .
7. Polymer oder Polymermembran nach den Ansprüchen 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die wasserlösliche Übergangsmetallverbindung  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CuSO}_4$  oder  $\text{HCuX}_2$  ( $\text{X} = \text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ) ist. 35
8. Verfahren zur Herstellung der Membranen aus den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es aus folgenden Schritten besteht:
  - (a) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20–95°C in verdünnter Mineralsäure  $\text{HX}$  (Konzentration 2–15 Gew.-%) für 2 bis 48 Stunden eingelagert ( $\text{X} = \text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ).
  - (b) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20 bis 95°C mit destilliertem Wasser gespült, bis das Waschwasser nicht mehr sauer reagiert. 40
  - (c) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von Raumtemperatur bis 60°C für 2 bis 48 Stunden in 0,1 M bis 2 M  $\text{AgNO}_3$ -Lösung eingelegt.
  - (d) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20 bis 95°C mit destilliertem Wasser gespült, bis das Waschwasser keine  $\text{Ag}^+$ -Ionen mehr aufweist. 45
 Gegebenenfalls kann dabei der Arbeitsschritt (b) ausgelassen werden.
9. Verfahren zur Herstellung der Membranen aus den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es aus folgenden Schritten besteht:
  - (a) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von Raumtemperatur bis 60°C für 2 bis 48 Stunden in 0,1 M bis 4 M  $\text{AgNO}_3$ -Lösung eingelegt. 50
  - (b) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20 bis 95°C mit destilliertem Wasser gespült, bis das Waschwasser nicht mehr sauer reagiert.
  - (c) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20 bis 95°C in verdünnter Mineralsäure  $\text{HX}$  (Konzentration 2–15 Gew.-%) für 2 bis 48 Stunden eingelagert ( $\text{X} = \text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ).
  - (d) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20 bis 95°C mit destilliertem Wasser gespült, bis das Waschwasser nicht mehr sauer reagiert. 55
 Gegebenenfalls kann dabei der Arbeitsschritt (b) ausgelassen werden.
10. Verfahren zur Herstellung der Membranen aus den Ansprüchen 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß es aus folgenden Schritten besteht:
  - (a) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von Raumtemperatur bis 60°C für 2 bis 48 Stunden in eine Lösung von  $\text{CuCl}$  in konzentrierter Säure  $\text{HX}$  ( $\text{X} = \text{Cl}$ ,  $\text{Br}$ ,  $\text{I}$ ), die die Säure  $\text{HCuX}_2$  bildet, eingelegt. 60
  - (b) das Polymer oder die Polymermembran wird bei Temperaturen von 20 bis 95°C für 5 bis 48 Stunden in destilliertes Wasser eingelegt.
11. Verwendung der erfindungsgemäßen Polymere und Polymermembranen aus den Ansprüchen 1 bis 10 in der selektiven Abtrennung von organischen Verbindungen, die Doppel- und Dreifachbindungen enthalten, aus ihren Gemischen mit gesättigten organischen Verbindungen mittels Membranverfahren. Dabei können folgende Membranverfahren zur Anwendung kommen: 65

Membran- verfahren	Aggregatzustand Feed	Aggregatzustand Permeat	treibende Kraft *	Methode zur Aufrechterhaltung $\Delta\mu$ **
Pervaporation	flüssig	gasförmig	$\Delta p$	inertes Spülgas Permeatseite
Pervaporation	flüssig	gasförmig	$\Delta p, \Delta T$	Spülgase Permeatseite, Temperaturunterschied zw. Feed- und Permeatseite $T_{\text{Feed}} > T_{\text{Permeat}}$
Pervaporation	flüssig	gasförmig	$\Delta p$	Unterdruck Permeatseite
Gastreinnung	gasförmig	gasförmig	$\Delta p$	inertes Spülgas Permeatseite
Gastreinnung	gasförmig	gasförmig	$\Delta p$	Unterdruck Permeatseite
Gastreinnung	gasförmig	gasförmig	$\Delta p, \Delta P$	Überdruck Feedseite
Perstraktion	flüssig	flüssig	$\Delta p, \Delta c$	inerte Spüllösung Permeatseite

\*  $\Delta p$ : Partialdruckdifferenz;  $\Delta T$ : Temperaturdifferenz;  $\Delta P$ : Druckdifferenz,  
 $\Delta c$ : Konzentrationsdifferenz

\*\*  $\Delta\mu$  = Differenz des chemischen Potentials zwischen Membran-Feedseite und  
 Membran-Permeatseite

12. Verwendung der erfindungsgemäßen Polymere und Polymermembranen aus den Ansprüchen 1 bis 10 in der selektiven Abtrennung von gasförmigen organischen Verbindungen, die Doppel- und Dreifachbindungen enthalten, aus ihren gasförmigen Gemischen mit gesättigten organischen Verbindungen mittels Gastrennung.

13. Verwendung der erfindungsgemäßen Polymere und Polymermembranen aus den Ansprüchen 1 bis 10 in der selektiven Abtrennung von flüssigen organischen Verbindungen, die Doppel- und Dreifachbindungen enthalten, aus ihren flüssigen Gemischen mit gesättigten organischen Verbindungen mittels Pervaporation oder Perstraktion.

14. Verwendung der erfindungsgemäßen Polymere und Polymermembranen aus den Ansprüchen 1 bis 10 in der selektiven Abtrennung von flüssigen organischen Verbindungen, die Doppel- und Dreifachbindungen enthalten, aus ihren flüssigen Gemischen mit gesättigten organischen Verbindungen mittels Perstraktion:

Die Polymermembran trennt in einer Membranzone den Feedraum vom Permeatraum. Durch den Feedraum wird ein Gemisch von flüssigen organischen, ungesättigten und gesättigten Verbindungen zirkuliert. Durch den Permeatraum zirkuliert ein flüssiger Kohlenwasserstoff als "Spülflüssigkeit", die selektiv durch die Polymermembran permeierte ungesättigte organische Verbindung aufnimmt. Dabei weist die "Spülflüssigkeit" einen wesentlich höheren Siedepunkt als die ungesättigte organische Verbindung auf. Aus der mit der ungesättigten organischen Verbindung beladenen Spülflüssigkeit wird in einem weiteren Kreislauf die ungesättigte organische Verbindung herausdestilliert oder mittels Pervaporation abgetrennt.

15. Verwendung der erfindungsgemäßen Polymere aus den Ansprüchen 1 bis 10 in der selektiven Abtrennung von flüssigen organischen Verbindungen, die Doppel- und Dreifachbindungen enthalten, aus ihren flüssigen oder gasförmigen Gemischen mit gesättigten organischen Verbindungen mittels Druckwechselabsorption:

Die Polymerschüttung in Form von Pellets wird mit dem Gemisch aus ungesättigten und gesättigten organischen Verbindungen kontaktiert. Nachdem die Polymerteilchen mit der ungesättigten Verbindung beladen sind, wird die ungesättigte Verbindung aus dem Polymer durch Druckerniedrigung oder Temperaturerhöhung wieder ausgetrieben und kondensiert und danach noch gegebenenfalls destillativ abgetrennt.

16. Verfahren nach den Ansprüchen 11 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die ungesättigten organischen Verbindungen bei Raumtemperatur flüssige und/oder gasförmige olefinische und/oder aromatische und/oder gemischte aromatisch/olefinische Kohlenwasserstoffe sind.

17. Verfahren nach den Ansprüchen 11 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß die zu trennenden Gemische noch zusätzlich sauerstoffhaltige, organische Verbindungen enthalten. Mögliche sauerstoffhaltige, organische Verbindungen sind beispielsweise Ketone, Aldehyde, Ether, Alkohole.

18. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Polymermembranen in Form von Hohlfasern oder Flachmembranen im Membrantrennprozeß eingesetzt werden.

19. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß die erfindungsgemäßen Polymere in Form von Dünnschichtmembranen in (elektro)chemischen Sensoren eingesetzt werden.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

## ABBILDUNGEN

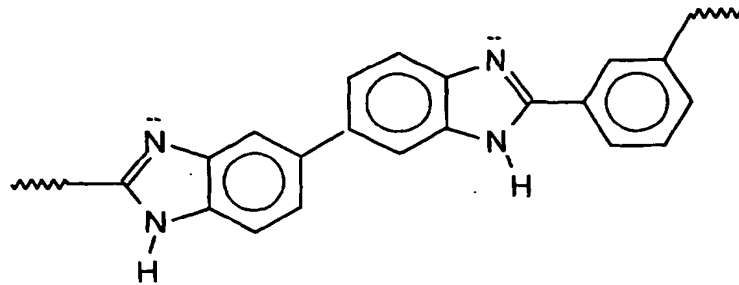


Abb. 1: Chemische Strukturformel von Polybenzimidazol PBI Celazol®

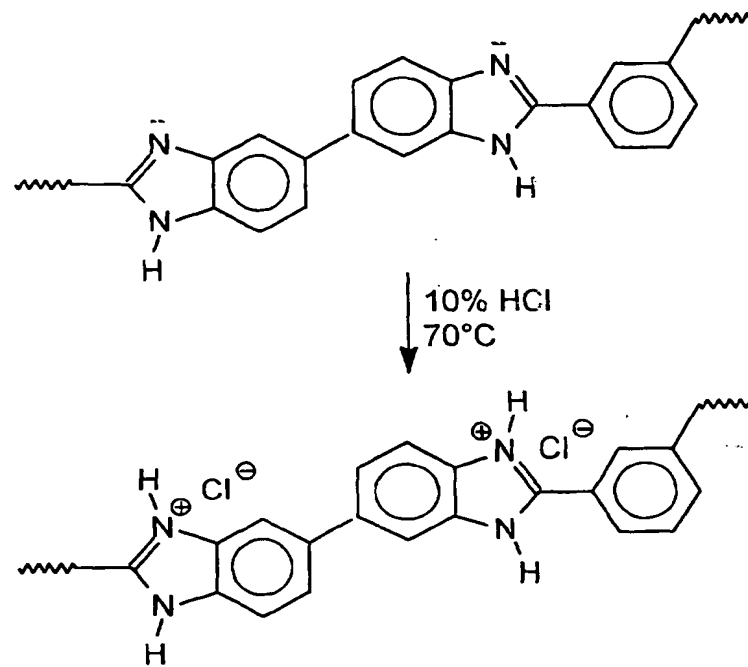


Abb. 2: Bildung des Hydrochlorids von PBI

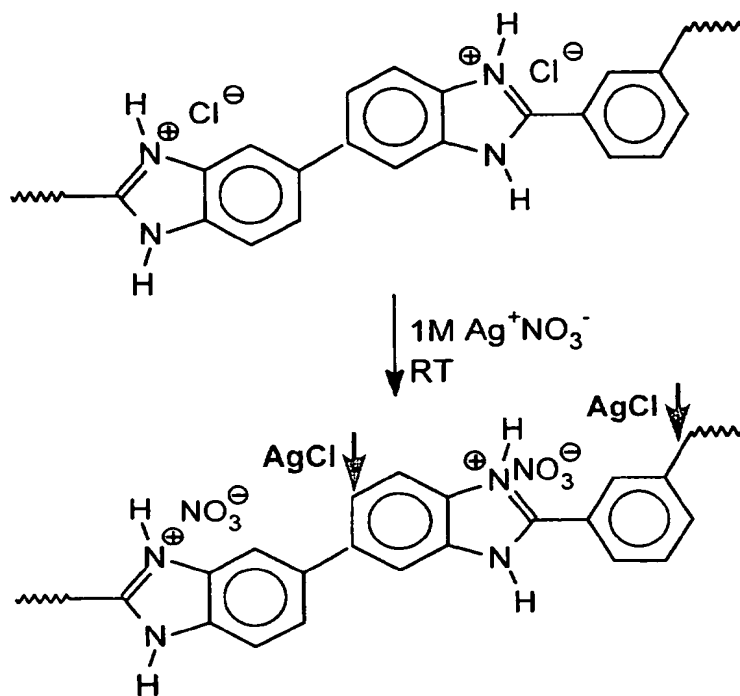


Abb. 3: Vermutete Reaktion zur Ausfällung von Silberchlorid bei Lagerung von PBI-Hydrochlorid in 1M  $\text{AgNO}_3$ -Lösung:

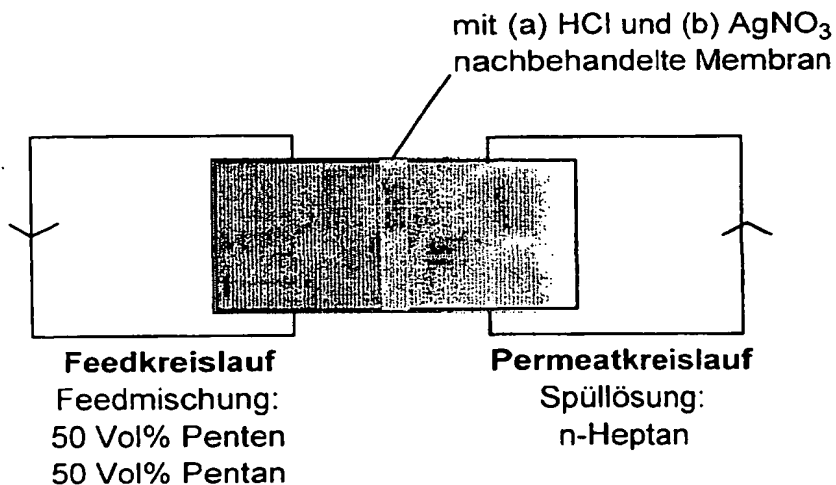
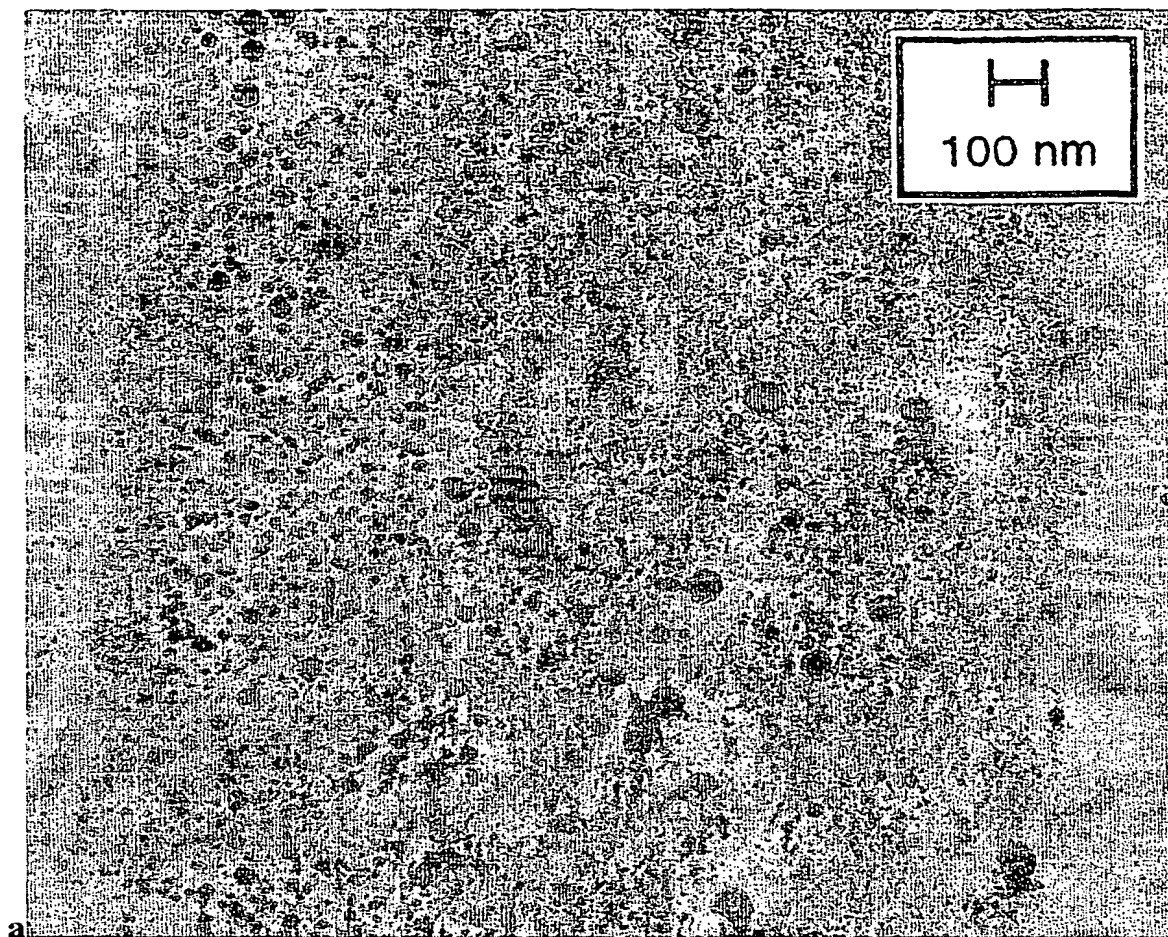


Abb. 4: Schema des Versuchsaufbaus zur selektiven Pentenabtrennung aus Penten/Pentan-Mischungen mittels mit  $\text{HCl}$  und  $\text{AgNO}_3$  nachbehandelten PBI-Membranen



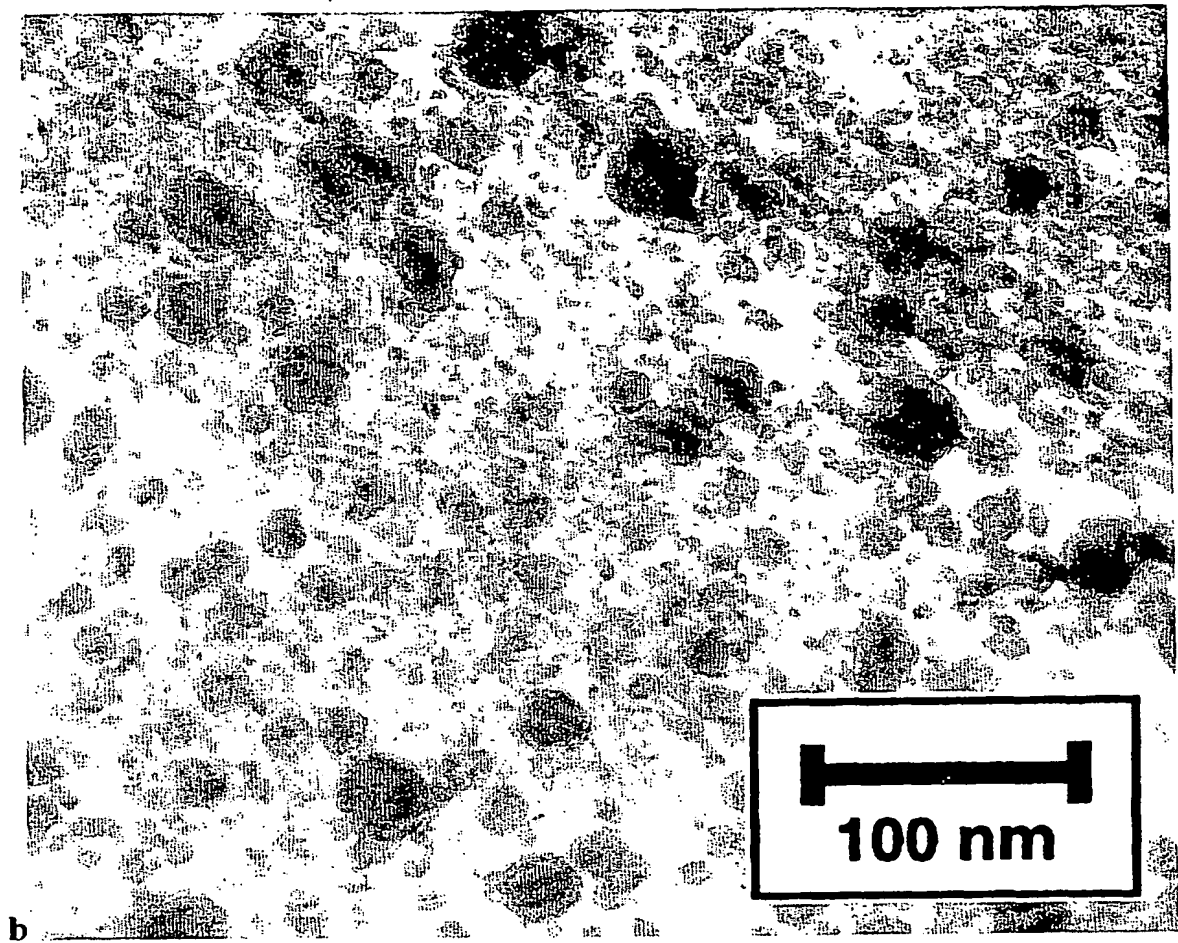


Abb. 5: TEM-Bild der AgCl-haltigen PBI-Membran, Vergrößerung (a) 21.000x, (b) 105.000x

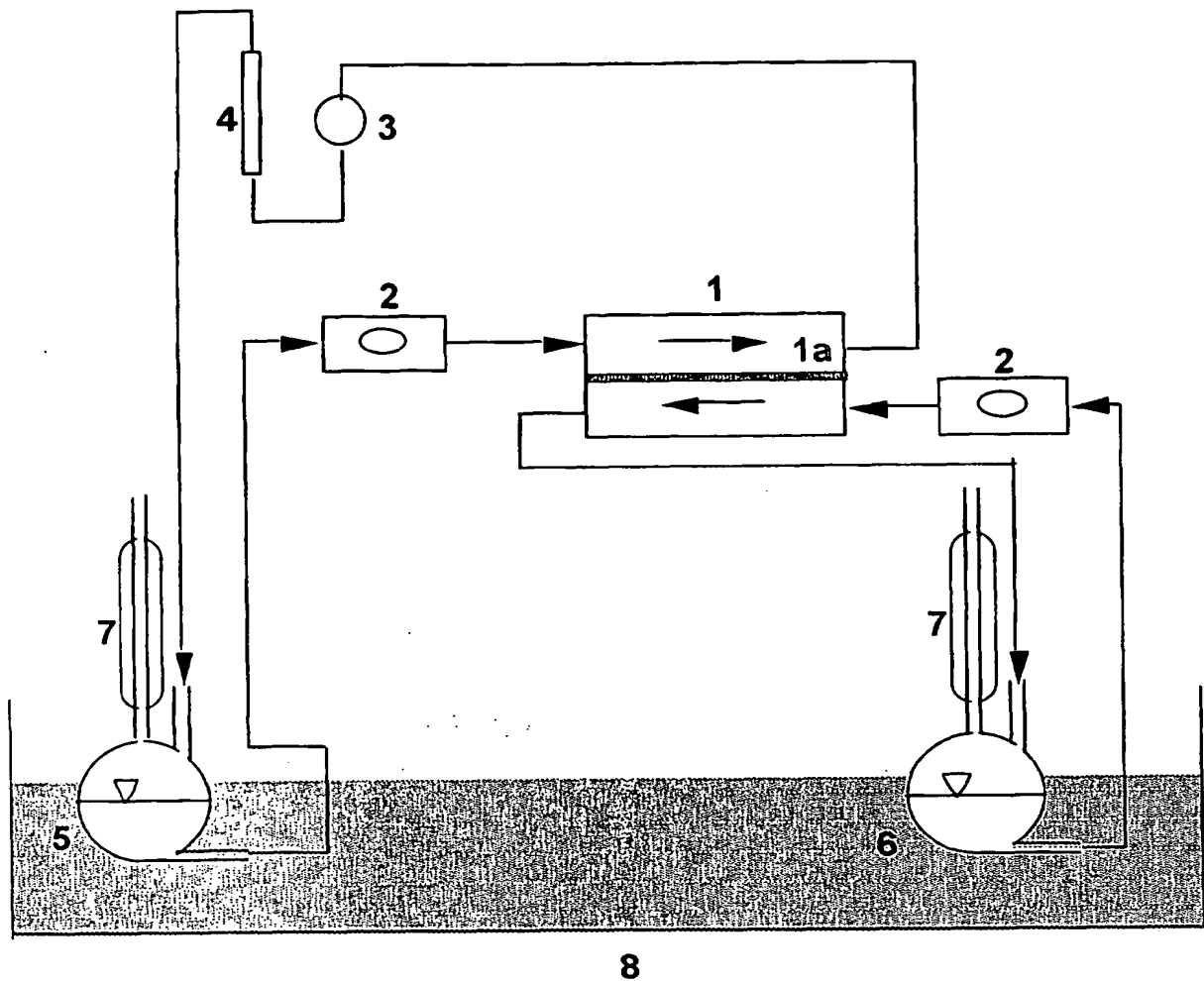


Abb. 6: Versuchsaufbau für die perstraktive Abtrennung von Penten aus Penten/Pentan-Mischungen mit einer erfindungsgemäßen AgCl-haltigen PBI-Membran  
 (1 Membranzelle, 1a Membran, 2 Schlauchpumpe, 3 Druckmanometer, 4 Flußmesser, 5 Feed-Reservoir, 6 Spüllösungs-Reservoir, 7 Kühler, 8 Thermostatisierungsbad (Wasser))